



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 10 269 A 1

61 Int. Cl. 5:  
H 01 J 29/39  
H 01 J 31/28  
G 21 K 4/00

21 Aktenzeichen: P 44 10 269.0  
22 Anmeldetag: 24. 3. 94  
43 Offenlegungstag: 6. 10. 94

DE 44 10 269 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
31.03.93 JP P 5-98634 27.08.93 JP P 5-213186

71 Anmelder:  
Shimadzu Corp., Kyoto, JP; Nippon Hoso Kyokai,  
Tokyo/Tokio, JP

74 Vertreter:  
Hauck, H., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., 80336  
München; Graafs, E., Dipl.-Ing., 20354 Hamburg;  
Wohnert, W., Dipl.-Ing., 80336 München; Döring, W.,  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing., 40474 Düsseldorf;  
Siemons, N., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte;  
Reichert, H., Rechtsanw., 20354 Hamburg

72 Erfinder:  
Tonami, Hiromichi, Kyoto, JP; Nishikawa, Takahisa,  
Kyoto, JP; Takemoto, Takayuki, Kyoto, JP; Kimura,  
Yutaro, Kyoto, DE; Hiragaki, Keiichi, Kyoto, JP;  
Kishimoto, Hidetoshi, Kyoto, JP; Shimizu, Tatsuya,  
Kyoto, JP; Oikawa, Shiro, Kyoto, JP; Katou, Tutomu,  
Tokio/Tokyo, JP; Suzuki, Shirou, Tokio/Tokyo, JP;  
Yamagishi, Toshio, Tokio/Tokyo, JP; Tanloka,  
Kenkichi, Tokio/Tokyo, JP

64 Röntgenbildaufnahmeröhre

67 Eine Röntgenbildaufnahmeröhre zur Umwandlung eines übertragenen Röntgenbildes in elektrische Signale hat eine Targetstruktur mit einem Fluoreszenzelement, einer lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht und einer photoleitfähigen Schicht. Das Fluoreszenzelement empfängt übertragene Röntgenstrahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung und wandelt die übertragenen Röntgenstrahlen in sichtbare Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung um. Die lichtdurchlässige leitfähige Schicht ist mit einer Fläche des Fluoreszenzelements entgegengesetzt zu dessen Röntgenstrahlauftrefffläche optisch gekoppelt. Die lichtdurchlässige leitfähige Schicht empfängt eine Hochspannung. Die photoleitfähige Schicht ist auf die lichtdurchlässige leitfähige Schicht laminiert und weist eine amorphe Halbleiterschicht auf mit Funktionen zur Ummantelung von durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht übertragenen sichtbaren Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung in elektrische Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung und zur Vervielfachung von elektrischen Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung mittels elektrischer Felder, die durch die an die lichtdurchlässige leitfähige Schicht angelegte Hochspannung gebildet werden. Die Aufnahmeröhre hat weiterhin eine Signalausleseinheit zum Abtasten der Oberfläche der photoleitfähigen Schicht entgegengesetzt zu einer Auftrefffläche sichtbarer Strahlen, um eine auf der photoleitfähigen Schicht auftretende zweidimensionale elektrische ...

DE 44 10 269 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 94 408 040/840

30/34

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Röntgenbild-aufnahmeröhre zur Umwandlung von Röntgenbildern in elektrische Signale in einem Röntgenfernsehsystem zur Verwendung bei der medizinischen Diagnose oder der nichtzerstörenden Materialprüfung.

Bei einem konventionellen Röntgenfernsehsystem sind ein Röntgenbildverstärker und eine Fernsehbild-aufnahmeröhre kombiniert, um Röntgenbilder in elektrische Signale umzuwandeln. Dabei treten Röntgenstrahlen in den Bildverstärker ein, wo die Röntgenstrahlen mittels einer Umwandlungsschicht, etwa aus CsI, in sichtbare Strahlen umgewandelt werden. Danach werden Elektronen von einer photoleitfähigen Schicht freigesetzt und unter Vervielfachung an eine Ausgabefluoreszenzschicht zur Umwandlung in sichtbares Licht weitergegeben. Dann wird ein Bild aus sichtbarem Licht von der Ausgabefluoreszenzschicht ausgegeben. Die Aufnahmeröhre ist optisch an die Ausgabebene des Bildverstärkers gekoppelt. Das Bild aus sichtbarem Licht wird durch eine optische Linse o. ä. auf eine Bildaufnahmeebene der Bildaufnahmeröhre projiziert. Folglich sammeln sich entsprechend dem auftreffenden Licht elektrische Ladungen auf der Aufnahmeebene an, die mittels eines Elektronenstrahls abgetastet und ausgelesen werden zur Ausgabe elektrischer Signale.

Bekannt ist auch ein Röntgenfernsehsystem, welches eine Röntgenbildaufnahmeröhre wie etwa eine X-ray HARP (Highgain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor) tube einsetzt, um Röntgenstrahlen direkt in Elektronen umzuwandeln. Diese Röntgenbildaufnahmeröhre hat eine Röntgenstrahlen-in-Elektrizität-Umwandlungsschicht aus einem Material wie etwa amorphem Selen, das im Röntgenbereich empfindlich ist und das die photoleitfähige Umwandlungsschicht in gewöhnlichen Bildaufnahmeröhren für sichtbares Licht bildet. Das heißt, diese Röntgenbildaufnahmeröhre benutzt nicht die Röntgen-in-sichtbares-Licht-Umwandlungsschicht etwa aus CsI, die in dem Bildverstärker benutzt wird, sondern verwendet statt dessen eine Schicht aus amorphem Selen zur Umwandlung von Röntgenstrahlen direkt in elektrische Ladungen, wobei durch einen Lawineneffekt verstärkte elektrische Signale erhalten werden.

Bei konventionellen Röntgenfernsehsystemen, die Röntgenbildverstärker und Fernsehbildaufnahmeröhre kombinieren, wird ein Röntgenbild jedoch wie oben beschrieben über zahlreiche Umwandlungsschritte in die endgültigen elektrischen Bildsignale umgewandelt; Röntgenstrahlen werden in sichtbare Strahlen, dann in Elektronen, wieder in sichtbare Strahlen, die durch Optiken hindurchtreten, nochmals in sichtbare Strahlen und in elektrische Signale umgewandelt. Ein derartiger Prozeß neigt zu einer schlechten Umwandlungseffizienz und bewirkt unvermeidbar ein schlechtes Signal-zu-Rausch-Verhältnis (S/N) des letzten Bildes. Weiterhin hat die Kombination von Bildverstärker und Bildaufnahmeröhre den Nachteil einer verkomplizierten und vergrößerten Vorrichtung. Bei der Röntgenbildaufnahmeröhre wie der X-ray HARP tube mit einer amorphen Selen-schicht zur Umwandlung von Röntgenstrahlen direkt in elektrische Ladungen muß die amorphe Selen-schicht, die eine hohe Röntgendurchlässigkeit hat, etwa 500 µm dick gebildet werden, um die Umwandlungseffizienz zu erhöhen. Dies ist schwer ausführbar, da eine besonders hohe Spannung zum Erreichen des Lawineneffekts erforderlich ist. Weiterhin ist es aus der Sicht

der Fertigung schwierig, eine Schicht aus amorphem Selen dick und gleichförmig über einen großen Bereich auszubilden. Daher ist es schwierig, eine Röntgenbild-aufnahmeröhre dieses Typs mit einer großen Apertur zu schaffen.

Die vorliegende Erfindung ist unter Berücksichtigung des oben genannten Standes der Technik gemacht worden und ihre primäre Aufgabe ist die Schaffung einer Röntgenbildaufnahmeröhre, die eine effiziente Umwandlung von Röntgenstrahlen in elektrische Signale erlaubt, die auch aus Röntgenstrahlen niedriger Dosis Bildsignale von hoher Leuchtstärke und Kontrast erhält, und die einfach mit einer großen Apertur gebildet werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Röntgenbildaufnahmeröhre zur Umwandlung eines übertragenen Röntgenbildes in elektrische Signale mit:

einem Fluoreszenzelement zum Empfangen von übertragenen Röntgenstrahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung und Umwandeln der übertragenen Röntgenstrahlen in sichtbare Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung;

einer lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht, die mit einer Fläche des Fluoreszenzelements entgegengesetzt zu dessen Röntgenstrahlenaufrefffläche optisch gekoppelt ist, wobei die lichtdurchlässige leitfähige Schicht eine Hochspannung empfängt;

einer photoleitfähigen Schicht, die auf die lichtdurchlässige leitfähige Schicht laminiert ist und eine amorphe Halbleiterschicht aufweist, welche Funktionen zur Konversion der durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht übertragenen sichtbaren Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung in elektrische Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung und zur Vervielfachung der elektrischen Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung mittels elektrischer Felder, die durch die an die lichtdurchlässige leitfähige Schicht angelegte Hochspannung gebildet sind, hat; und

einer Signalausleseeinheit zum Abtasten einer Fläche der photoleitfähigen Schicht entgegengesetzt zu deren Auftrefffläche sichtbarer Strahlen, um eine auf der photoleitfähigen Schicht auftretende zweidimensionale elektrische Potentialverteilung als elektrische Signale auszulesen.

Diese Erfindung hat die folgenden Funktionen.

Das Fluoreszenzelement konvertiert übertragene Röntgenstrahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung in sichtbare Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung. Die sichtbaren Strahlen laufen zu der photoleitfähigen Schicht durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht, die mit dem Fluoreszenzelement optisch gekoppelt ist. Die photoleitfähige Schicht konvertiert die auftreffenden sichtbaren Strahlen mit der zweidimensionalen Verteilung in elektrische Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung. Gleichzeitig werden die elektrischen Ladungen mit der zweidimensionalen Verteilung vervielfacht durch die ladungsvervielfachende Funktion der amorphen Halbleiterschicht mittels elektrischer Felder, die durch die an die lichtdurchlässige leitfähige Schicht angelegte Hochspannung gebildet werden. Als Ergebnis erscheint eine zweidimensionale Verteilung elektrischer Potentiale entsprechend einer Intensitätsverteilung der einfallenden Röntgenstrahlen auf der photoleitfähigen Schicht. Die Signalausleseeinheit tastet die photoleitfähige Schicht ab, um die zweidimensionale Verteilung elektrischer Potentiale als elektrische Signale auszulesen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung vervielfacht die fotoleitfähige Schicht mit der amorphen Halbleiterschicht die elektrischen Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung. Folglich werden Röntgenbildsignale von hoher Leuchtstärke und Kontrast auch von einfallenden Röntgenstrahlen niedriger Dosis erhalten. Verglichen mit einer Kombination eines Bildverstärkers und einer Bildaufnahmeröhre erhält die Bildaufnahmeröhre gemäß der vorliegenden Erfindung Röntgenbildsignale durch weniger Umwandlungsstufen, wodurch Rauschen reduziert wird um hochwertige Bilder zu realisieren. Die Erfindung schafft eine einfachere und kleinere Konstruktion als die Kombination eines Bildverstärkers und einer Bildaufnahmeröhre. Da weiterhin die in die photoleitfähige Schicht einbezogene amorphe Halbleiterschicht sichtbare Strahlen anstelle von Röntgenstrahlen empfängt, kann die amorphe Halbleiterschicht dünner ausgeführt werden als in einer konventionellen X-ray HARP tube. Daher kann die amorphe Halbleiterschicht einfach über einen großen Bereich gleichförmig gebildet werden, um zu ermöglichen, daß dieser Typ Röntgenbildaufnahmeröhre eine vergrößerte Apertur aufweist.

Die in die photoleitfähige Schicht einbezogene amorphe Halbleiterschicht ist nicht auf irgendeinen speziellen Typ begrenzt, solange die Halbleiterschicht die elektrische Ladungsvervielfachungsfunktion erfüllt. Jedoch weist eine in der vorliegenden Erfindung benutzte bevorzugte Halbleiterschicht Selen (Se) als eine Hauptkomponente auf. Wenn starke elektrische Felder auf die amorphe Halbleiterschicht mit Selen als einer Hauptkomponente angewendet werden, tritt eine elektrische Ladungsvervielfachungsfunktion innerhalb der amorphen Halbleiterschicht auf. Dies wird einem Lawineneffekt im Inneren der amorphen Halbleiterschicht mit Selen als einer Hauptkomponente zugeschrieben.

Vorzugsweise weist die amorphe Halbleiterschicht jeweils auf ihren entgegengesetzten Oberflächen gebildete Sperrschichten auf zum Verhindern des Eindringens elektrischer Ladungen in die amorphe Halbleiterschicht, um Dunkelstrom zu reduzieren.

Das Fluoreszenzelement ist nicht auf irgendeinen bestimmten Typ beschränkt, solange dieses Element Röntgenstrahlen in sichtbare Strahlen umwandelt. Ein gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugtes Fluoreszenzelement hat jedoch eine Nadelkristallstruktur aus Cäsiumiodid (CsI:Na), dotiert mit Natrium (Na), welches eine hohe Röntgenumwandlungseffizienz aufweist.

Wo die lichtdurchlässige leitfähige Schicht direkt auf der Nadelkristallstruktur des CsI:Na mit der daraufflaminierten fotoleitfähigen Schicht gebildet ist, hat die amorphe Halbleiterschicht der photoleitfähigen Schicht aufgrund der geriffelten Oberfläche der Nadelkristallstruktur des CsI:Na eine ungleichmäßige Dicke. Als eine Folge neigen starke elektrische Felder zur lokalen Konzentration innerhalb der amorphen Halbleiterschicht und zur Verursachung von Funken o. ä., was derartige Abschnitte der Schicht zerstören kann. Daher ist eine Glättung der Oberfläche des Fluoreszenzelements (der Nadelkristallstruktur des CsI:Na), mit der die lichtdurchlässige leitfähige Schicht in engem Kontakt gebildet ist, erstrebenswert.

Eine solche Glättungsbehandlung stellt jedoch keine Beschränkung dar als Mittel zur Vermeidung der Zerstörung der amorphen Halbleiterschicht wegen der geriffelten Oberfläche der Nadelkristallstruktur des CsI:Na. Eine Zwischenschicht kann zwischen dem Fluoreszenzelement und der lichtdurchlässigen leitfähigen

Schicht angeordnet sein, wobei die Zwischenschicht mindestens eine glatte Oberfläche gegenüber der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht aufweist.

Eine derartige Zwischenschicht ist beispielsweise eine dünne Glasplatte, eine Zwischenschicht mit einer Vielzahl von zusammengebündelten optischen Fasern oder eine auf das Fluoreszenzelement aufgebraute Harzschicht. Eine Faserplatte ist bevorzugt, da das Licht nicht wie bei einer Glasplatte gestreut wird. Die Faserplatte kann relativ dünn geformt werden, um als Unterstützungsbasis für die Targetstruktur (d. h. das Laminat aus Fluoreszenzelement, leitfähiger Schicht und photoleitfähiger Schicht) zu wirken.

Die Harzbeschichtung kann als Zwischenschicht mit dem Vorteil benutzt werden, daß eine Zwischenschicht mit glatter Oberfläche einfach und mit geringem Aufwand gebildet ist.

Die Signalausleseeinheit kann eine einzelne Elektronenkanone zum zweidimensionalen Abtasten der photoleitfähigen Schicht mit einem Elektronenstrahl sein. Wo eine Elektronenkanone benutzt wird, neigt die Röntgenbildaufnahmeröhre zu großer Länge. Um eine Röntgenbildaufnahmeröhre mit reduzierter Länge zu konstruieren, kann die Signalausleseeinheit eine Gruppe von Schaltelementen in zweidimensionaler Anordnung auf der photoleitfähigen Schicht aufweisen. Ebenfalls möglich ist eine Elektronenstrahlerzeugungsanordnung mit einer Vielzahl von linearen Kathoden oder konischen Kathoden, die als Elektronenstrahlquellen wirken.

Zur Erläuterung der vorliegenden Erfindung werden in den beiliegenden Zeichnungen mehrere zur Zeit bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gezeigt, wobei die Erfindung jedoch nicht auf die genauen Anordnungen der gezeigten Instrumente beschränkt ist.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die eine Kontur einer Röntgenbildaufnahmeröhre und benachbarter Vorrichtungen in einer ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

Fig. 2 ist eine schematische Ansicht einer Targetstruktur, die in der Röntgenbildaufnahmeröhre der ersten Ausführungsform eingesetzt ist.

Fig. 3 ist eine vergrößerte Ansicht einer Verbindung zwischen einer Fluoreszenzelementoberfläche und einer photoleitfähigen Schicht.

Fig. 4 ist eine schematische Ansicht einer Targetstruktur in einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht, die eine Kontur einer Röntgenbildaufnahmeröhre in einer dritten Ausführungsform zeigt.

Fig. 6 ist eine schematische Ansicht einer Targetstruktur, die in der Röntgenbildaufnahmeröhre der dritten Ausführungsform eingesetzt ist.

Fig. 7 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Targetstruktur in der dritten Ausführungsform.

Fig. 8 ist eine schematische Ansicht einer Targetstruktur in einer vierten Ausführungsform.

Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die eine Kontur einer Röntgenbildaufnahmeröhre und benachbarter Vorrichtungen in einer fünften Ausführungsform zeigt.

Fig. 10 zeigt einen Ersatzschaltbild eines Targetabschnitts der fünften Ausführungsform.

Fig. 11 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Targetstruktur in der fünften Ausführungsform.

Fig. 12 ist eine schematische Ansicht einer weiteren modifizierten Targetstruktur in der fünften Ausführungsform.

Fig. 13 ist eine schematische Ansicht einer weiteren modifizierten Targetstruktur in der fünften Ausführungsform.

Fig. 14 ist eine schematische Ansicht, die eine Kontur einer Röntgenbildaufnahmeröhre in einer sechsten Ausführungsform zeigt.

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen detailliert beschrieben.

#### Erste Ausführungsform

Wie in Fig. 1 gezeigt, hat eine Röntgenbildaufnahmeröhre 1 ein Target 12 und eine in einem Vakuumkollben 10 angeordnete Elektronenkanone 13. Röntgenstrahlen durchdringen ein Objekt 4 und laufen in einer zweidimensionalen Verteilung durch ein röntgendurchlässiges Fenster 11 zu dem Target 12.

Wie schematisch in Fig. 2 gezeigt, hat das Target 12 ein Substrat 21, ein auf einer von der Auftrefffläche verschiedenen Fläche des Substrats 21 gebildetes Fluoreszenzelement 22, eine auf dem Fluoreszenzelement 22 gebildete leitfähige Schicht 24 und eine in engem Kontakt mit der leitfähigen Schicht 24 gebildete photoleitfähige Schicht 25.

Das Substrat 21 gewährleistet eine mechanische Festigkeit des Targets 12 und ist aus einem röntgendurchlässigen Material wie etwa Aluminium, metallischem Beryllium, Glas oder Keramik geformt und hat eine Dicke von 1 bis 2 mm.

Das Fluoreszenzelement 22 ist aus einem röntgenempfindlichen Material zur Erzeugung sichtbarer Strahlen gebildet, etwa aus CsI:Na, ZnS oder  $\text{CaWO}_4$ . Insbesondere ist eine Nadelkristallstruktur des CsI:Na unter dem Gesichtspunkt der Röntgenkonversionseffizienz bevorzugt. Die Schichtdicke von CsI:Na ist normalerweise in der Größenordnung von 200 bis 400  $\mu\text{m}$ .

Die leitfähige Schicht 24 hat eine lichtdurchlässige leitfähige Schicht etwa aus ITO oder  $\text{SnO}_2$ , einer Legierung aus Indium, Zinn und Sauerstoff. Die leitfähige Schicht 24 sollte so dünn wie möglich (etwa 300 Å) gebildet werden, um Sichtstreuung zu vermeiden.

Die fotoleitfähige Schicht 25 weist eine amorphe Halbleiterschicht 25a mit Selen (Se) als Hauptkomponente und zwei Sperrschichten 25b und 25c, die auf entgegengesetzten Seiten der amorphen Halbleiterschicht 25a angeordnet sind, auf. Die amorphe Halbleiterschicht 25a wirkt als im wesentlichen photoleitfähige Umwandlungsschicht zur Umwandlung von sichtbarem Licht in elektrische Signale. Da Röntgenstrahlen nicht direkt in die amorphe Halbleiterschicht 25a eintreten, wie in der bekannten X-ray HARP tube, kann die amorphe Halbleiterschicht 25a relativ dünn sein, d. h. normalerweise in der Größenordnung von 4 bis 20 m. Die Sperrschichten 25b und 25c verhindern, daß elektrische Ladungen zu der amorphen Halbleiterschicht 25a gelangen. Die der leitfähigen Schicht 24 gegenüberliegende Sperrschicht 25b ist aus  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$  o. ä. gebildet. Die Sperrschicht 25c auf der den Elektronenstrahl empfangenden Seite ist aus  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  o. ä. gebildet. Es ist nicht absolut notwendig, die amorphe Halbleiterschicht 25a nur aus Selen zu bilden, sondern Verunreinigungen etwa aus As, Ge, Te o. ä. können hinzugefügt werden, um die thermische Stabilität oder Sensitivität zu verbessern.

Das obige Target 12 wird beispielsweise durch den folgenden Prozeß hergestellt.

Zunächst wird das Fluoreszenzelement 22 auf einer

Oberfläche des Substrats 21 gebildet durch Aufbringen von CsI: Na darauf mittels Vakuumverdampfung. Zu dieser Zeit wird die Nadelkristallstruktur des CsI:Na erhalten, indem das Substrat 21 bei 200 bis 400°C gehalten wird. Auf der Oberfläche des Fluoreszenzelements 22 wird die leitfähige Schicht 24 gebildet durch Aufbringen von ITO darauf mittels Vakuumverdampfung oder Zerstäubung. Dann werden die Sperrschicht 25c, die amorphe Halbleiterschicht 25a und die Sperrschicht 25b auf der leitfähigen Schicht 24 in der genannten Reihenfolge mittels Vakuumverdampfung gebildet. Zu dieser Zeit wird das Substrat 21 bei einer Temperatur gehalten, die 60°C nicht überschreitet, um Kristallisation der amorphen Halbleiterschicht 25a zu vermeiden.

Die Wirkungsweise der Röntgenbildaufnahmeröhre mit der oben genannten Konstruktion wird als nächstes beschrieben.

Wenn durch das Objekt 4 hindurchgetretene Röntgenstrahlen das röntgenstrahlendurchlässige Fenster 11 passieren und auf das Target 12 treffen, emittieren die Röntgenstrahlentreffabschnitte des Fluoreszenzelements 22 sichtbares Licht, welches in zweidimensionaler Verteilung durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht 24 hindurchtritt hin zur photoleitfähigen Schicht 25. Wenn das Licht die amorphe Halbleiterschicht 25a erreicht, werden darin elektrische Ladungen (Elektronen-Loch-Paare) erzeugt, was in hohen elektrischen Potentialen in den Abschnitten, die das Licht empfangen haben, resultiert. Daher wird eine dem auftreffenden Röntgenbild entsprechende zweidimensionale Verteilung von elektrischen Potentialen auf der photoleitfähigen Schicht 25 erhalten.

Eine Hochspannung wird zwischen der leitfähigen Schicht (ITO-Schicht) 24 des Targets 12 und der Elektronenkanone 13 angelegt. Dadurch entstehen starke elektrische Felder in der amorphen Halbleiterschicht 25a, um einen Lawineneffekt in der amorphen Halbleiterschicht 25a zu erzeugen. Dies vermehrt die elektrischen Ladungen exponentiell zur Erhöhung der elektrischen Potentiale. Um diesen Lawineneffekt zu erzeugen, sind starke elektrische Felder in der Größenordnung von  $10^8 \text{ V/m}$  erforderlich. Dies wird relativ einfach dadurch erreicht, daß die amorphe Halbleiterschicht 25a so dünn wie oben beschrieben ausgebildet ist. Die Vermehrung der elektrischen Ladungen erhöht die elektrischen Potentiale der photoleitfähigen Schicht 25 sehr stark. Die Abschnitte der fotoleitfähigen Schicht 25, die nicht der Röntgenstrahlung ausgesetzt sind, verbleiben jedoch auf niedrigem Potential.

Die zweidimensionale Verteilung von elektrischen Potentialen auf der photoleitfähigen Schicht 25 wird mittels eines Elektronenstrahls ausgelesen. Dabei emittiert die Elektronenkanone 13 einen Elektronenstrahl "e" zum Target 12 hin. In einem von dem Elektronenstrahl "e" beaufschlagten Abschnitt fließt ein dem Potential proportionaler Strom zwischen dem Target 12 und der Elektronenkanone 13. Folglich werden an entgegengesetzten Enden eines Widerstands R Spannungssignale erhalten. Der Elektronenstrahl "e" wird durch eine nicht gezeigte Ablenkspule abgelenkt, um das Target 12 zweidimensional abzutasten. Als Resultat wird die Verteilung der elektrischen Potentiale auf der photoleitfähigen Schicht als elektrische Bildsignale ausgelesen. Diese elektrischen Signale werden durch eine Kamerausteuereinheit (CCU = Camera Control Unit) 2 in Videosignale umgewandelt, welche einem Fernsehmonitor 3 übermittelt werden. Als Ergebnis wird ein Röntgendurchleuchtungsbild des Objekts 4 auf dem Schirm

des Fernsehmonitors 3 angezeigt. Mit dieser Röntgenbildaufnahmeröhre 1 werden Röntgenstrahlen in sichtbare Strahlen umgewandelt und elektrische Ladungen entsprechend der Intensität der sichtbaren Strahlen erzeugt. Diese elektrischen Ladungen werden durch den Lawineneffekt verstärkt, um starke elektrische Signale auch bei auftreffenden Röntgenstrahlen niedriger Dosis zu erhalten. Die Röntgenbildaufnahmeröhre 1 erfordert wenige Schritte für die Umwandlung von Röntgenstrahlen in elektrische Signale, um geringes Rauschen zu erzeugen. Folglich haben die auf dem Schirm des Fernsehmonitors 3 erscheinenden Röntgendurchleuchtungsbilder hohe Werte für Helligkeit und Kontrast mit einem großen S/N-Verhältnis. Da die amorphe Halbleiterschicht 25a dünn ausgebildet werden kann, ist es einfach, die photoleitfähige Schicht 25 mit einer großen Fläche und einer einheitlichen Materialstärke herzustellen. Als Ergebnis kann die Röntgenbildaufnahmeröhre 1 eine große Apertur mit einem weiten Sehfeld entsprechend der Größe eines zu untersuchenden Bereiches aufweisen. Mit der großen Apertur der Röntgenbildaufnahmeröhre 1 kann die Elektronenkanone 13 ebenfalls vergrößert werden, um einen erhöhten Strom für Auslese Zwecke zu schaffen, wodurch die dynamischen Bereiche der Signale vergrößert werden.

Das auf dem Substrat 21 gebildete Fluoreszenzelement 22 mit einer Nadelkristallstruktur aus CsI:Na definiert eine geriffelte Fläche mit einer Rippenhöhe "h" in der Größenordnung von 2 µm, wie in Fig. 3 gezeigt. Wegen dieser Riffelung kann die darauf über die sehr dünne leitfähige Schicht 24 auf getragene photoleitfähige Schicht 25 keine einheitliche Dicke aufweisen. Wenn eine Hochspannung zwischen der leitfähigen Schicht 24 und der Elektronenkanone 13 angelegt ist, neigen starke elektrische Felder zur lokalen Konzentration in der amorphen Halbleiterschicht 25a der photoleitfähigen Schicht 25. Daher können derartige Orte Funken o.a. ausgesetzt sein, wodurch Pixel zerstört werden.

Zur Vermeidung dieses Nachteils wird angestrebt, die Oberfläche des Fluoreszenzelements 22 zu glätten. Vorzugsweise sollte die Rippenhöhe "h" auf der Oberfläche des Fluoreszenzelements 22 0,1 µm oder kleiner sein. Es ist jedoch zu bemerken, daß große wellenförmige Schwankungen keine lokale Konzentration von elektrischen Feldern in der amorphen Halbleiterschicht 25a erzeugen. Daher sind solche Niveaudifferenzen, auch wenn sie 0,1 µm überschreiten, akzeptabel.

#### Zweite Ausführungsform

Diese Ausführungsform weist eine als glatte Zwischenschicht eingefügte dünne Glasplatte zwischen einem Fluoreszenzelement 22 und einer leitfähigen Schicht 24 auf.

Es wird auf Fig. 4, die eine schematische Ansicht der zweiten Ausführungsform zeigt, Bezug genommen.

Das Target 12 in dieser Ausführungsform hat ein Substrat 21, ein auf einer von der Auftrefffläche verschiedenen Fläche des Substrats 21 gebildetes Fluoreszenzelement 22, eine als glatte Zwischenschicht auf dem Fluoreszenzelement 22 gebildete dünne Glasplatte 23, eine auf der Glasplatte 23 gebildete lichtdurchlässige leitfähige Schicht 24 und eine auf der leitfähigen Schicht 24 gebildete photoleitfähige Schicht 25.

Das Substrat 1, das Fluoreszenzelement 22, die leitfähige Schicht 24 und die photoleitfähige Schicht 25 haben die gleichen Strukturen wie in der ersten Ausführungsform und werden nicht nochmals beschrieben.

Je dünner die Glasplatte 23 ist, desto besser wird die Streuung von Licht, das aus dem Fluoreszenzelement 22 austritt, in Richtungen parallel zu dessen Ebenen unterdrückt. Die Glasplatte 23 hat eine Dicke von beispielsweise etwa 50 µm. Zumindest die der leitfähigen Schicht 24 gegenüberliegende Fläche der Glasplatte 23 ist geglättet, um eine einheitliche Dicke der photoleitfähigen Schicht 25 zu erlauben. Niveaudifferenzen auf dieser Fläche der Glasplatte 23 sind auf 0,1 m begrenzt.

Das Target 12 mit der obigen Struktur wird beispielsweise durch den folgenden Prozeß hergestellt.

Zunächst wird das Fluoreszenzelement 22 auf einer Oberfläche der Glasplatte 23 durch Aufbringen von CsI:Na darauf mittels Vakuumverdampfung gebildet. Die leitfähige Schicht 24 ist auf der anderen Oberfläche der Glasplatte 23 durch Aufbringen von ITO mittels Vakuumverdampfung oder Zerstäubung gebildet. Die Sperrschicht 25b, die amorphe Halbleiterschicht 25a und die Sperrschicht 25c werden auf der leitfähigen Schicht 24 in der genannten Reihenfolge mittels Vakuumverdampfung gebildet. Nachdem diese Schichten auf der Glasplatte 24 gebildet sind, wird die dem Fluoreszenzelement 22 gegenüberliegende Fläche der Glasplatte 23 mit dem Substrat 21 verbunden mittels eines epoxidartigen Klebemittels o.ä. Das Klebemittel sollte von einem Typ sein, der eine minimale Gasmenge in einer entspannten Atmosphäre freisetzt.

In einer wie oben beschrieben konstruierten Röntgenbildaufnahmeröhre bewirken einfallende Röntgenstrahlen im Fluoreszenzelement 22 die Emission von Licht, welches durch die dünne Glasplatte 23 und die lichtdurchlässige leitfähige Schicht 24 hindurchtritt hin zur photoleitfähigen Schicht 25. Die Funktion der Vervielfachung elektrischer Ladungen der photoleitfähigen Schicht 25 ist dieselbe wie in der ersten Ausführungsform und wird hier nicht beschrieben.

Da gemäß dieser Ausführungsform die leitfähige Schicht 24 und die photoleitfähige Schicht 25 auf einer glatten Fläche der Glasplatte 23 gebildet sind, kann die amorphe Halbleiterschicht 25a eine gleichförmige Dicke aufweisen, wodurch die lokale Konzentration von elektrischen Feldern in der amorphen Halbleiterschicht 25a vermieden wird.

#### Dritte Ausführungsform

Die Fig. 5 und 6 zeigen eine Kontur der dritten Ausführungsform. Das Target 12 in dieser Ausführungsform hat eine Faserplatte 26 mit geglätteten Flächen, ein Fluoreszenzelement 22, das mittels Vakuumverdampfung auf einer Fläche (der Röntgenauftreffseite) der Faserplatte 26 gebildet ist, und eine leitfähige Schicht 24 sowie eine photoleitfähige Schicht 25, die auf der anderen Fläche der Faserplatte 26 gebildet sind. Die Faserplatte 26 wirkt als lichtdurchlässige Schicht und ebenfalls als Unterstützungsbasis für das Fluoreszenzelement 22, die leitfähige Schicht 24 und die photoleitfähige Schicht 25.

Die Faserplatte 26 hat eine Vielzahl von optischen Fasern von sehr kleinem Durchmesser in der Größenordnung von 6 bis 25 µm, gebündelt und gemeinsam verbunden zwischen peripheralen Flächen, die zu 1 bis 3 mm geschnitten sind, um eine dünne Platte zu bilden. Licht wird in einer Richtung der Dicke der Faserplatten 26 transmittiert, jedoch nicht in Richtungen parallel zu ihren Oberflächen. Die Faserplatte 26 ist frei von einem Nachteil der Glasplatte 23, die in der zweiten Ausführungsform eingesetzt wurde. Dies ist, daß im Fall der

Glasplatte 23 das Licht von dem Fluoreszenzelement 22 in Richtung der Dicke ebenso wie in Richtungen parallel zu den Oberflächen der Glasplatte 23 transmittiert wird, wodurch die Auflösung reduziert wird. Dies kann vermieden werden durch minimieren der Dicke der Glasplatte 23. Die Glasplatte 23 ist jedoch zerbrechlich und schwer zu handhaben. Bei der Faserplatte 26 wird Licht nicht in Richtungen parallel zu ihrer Oberfläche gestreut. Folglich entsteht auch kein Problem durch dicke Ausbildung der Faserplatte 26 für verbesserte Festigkeit.

Mit dieser Festigkeit ist die Faserplatte 26 als Unterstützungsbasis geeignet. Folglich ist das in Fig. 4 gezeigte Substrat 21 entbehrlich mit dem weiteren Vorteil der Vermeidung einer Abschwächung von Röntgenstrahlen. Natürlich ist es möglich, sowohl das Substrat 21 als auch die Faserplatte 26 zu benutzen.

In der ersten und zweiten Ausführungsform ist das Substrat 21 aus Aluminium o.a. gebildet und von der Gestalt einer sphärischen Kurve, wobei das Target 12, wie in Fig. 1 gezeigt, den Elektronenstrahl empfängt, der mit der photoleitfähigen Schicht in Richtungen im wesentlichen senkrecht dazu kollidiert. Die Faserplatte 26 in der dritten Ausführungsform ist jedoch aufgrund ihrer Struktur schwierig in eine gekrümmte Konfiguration zu formen. Fig. 7 zeigt eine modifizierte Faserplatte 26a, deren Gestalt eine konkave Fläche gegenüber der leitfähigen Schicht 24 aufweist. Der Elektronenstrahl kann dann ausgerichtet sein zur Kollision mit einer photoleitfähigen Schicht 25, die auf der konkaven Fläche in Richtungen im wesentlichen senkrecht dazu gebildet ist.

#### Vierte Ausführungsform

Fig. 8 zeigt in einer schematischen Ansicht eine Targetstruktur einer Röntgenbildaufnahmeröhre in einer vierten Ausführungsform.

In dieser Ausführungsform ist ein Fluoreszenzelement 22 auf einer Fläche eines Glassubstrats 21 gebildet. Eine geglättete Harzschicht 27 etwa aus Polyimidharz, Epoxidharz o.ä. ist zwischen dem Fluoreszenzelement 22 und einer leitfähigen Schicht 24 eingefügt. Eine photoleitfähige Schicht 25 ist auf der leitfähigen Schicht 24 gebildet. Die Harzschicht 27 ist mittels einem Schleuderbeschichtungsverfahren gebildet, bei dem flüssiges Polyimidharz o.a. auf das mit hoher Geschwindigkeit drehende Substrat 21 tropft, wobei die Fläche, auf der das Fluoreszenzelement 22 gebildet wird, nach oben weist. Die resultierende Harzschicht wird gehärtet mittels einer anschließenden Wärmebehandlung. Gemäß diesem Verfahren ist es einfach, die Fläche der Harzschicht 27 zu glätten und die Harzschicht 27 dünn auszubilden. Die leitfähige Schicht 24 ist an ihrem einen Ende durch ein leitfähiges Epoxidharz 29 mit einem metallischen Anschluß 28 einer im Substrat 21 eingebetteten elektrischen Verdrahtung elektrisch verbunden.

Die oben genannte Harzschicht 27 kann durch eine  $\text{SiO}_2$ - oder  $\text{SiO}_2$ -Schicht, die mittels Plasma-CVD (Chemical Vapor Deposition) oder Zerstäubung auf das Fluoreszenzelement 22 aufgebracht ist, ersetzt werden.

#### Fünfte Ausführungsform

In jeder der vorhergehenden Ausführungsformen wird eine elektrische Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht 25 ausgelesen durch Abscannen des von der einzelnen Elektronenkanone 13 emittierten Elektronenstrahls. Dies erfordert unvermeidlich die

Verlängerung der Röntgenbildaufnahmeröhre in Richtung des Elektronenstrahlwegs. In dieser Ausführungsform werden, um eine Röntgenbildaufnahmeröhre von reduzierter Länge zu ermöglichen, Schaltelemente anstelle der Elektronenkanone benutzt, um die elektrische Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht 25 auszulesen. Die Targetstruktur einer beliebigen der ersten vier Ausführungsformen kann benutzt werden.

Fig. 9 zeigt eine Kontur dieser Ausführungsform.

Die Targetstruktur ist ähnlich zu der in Fig. 2 gezeigten der ersten Ausführungsform. Daher sind ein Fluoreszenzelement 22, eine leitfähige Schicht 24 und eine photoleitfähige Schicht 25 in der genannten Reihenfolge laminiert. Schaltelemente 30 sind zweidimensional gegenüber der Sperrschicht 25b der photoleitfähigen Schicht 25 angeordnet. Die Anzahl der Schaltelemente 30 liegt grob zwischen einigen Hundert mal einigen Hundert und einigen Tausend mal einigen Tausend, wobei dies vom erforderlichen Auflösungsvermögen der Röntgenbildaufnahmeröhre bestimmt wird. Die Schaltelemente 30 sind auf einem isolierenden Substrat 31 gebildet. Dieses isolierende Substrat wirkt als Targetunterstützungsbasis und folglich wird das in Fig. 2 gezeigte Substrat 21 in dieser Ausführungsform nicht benutzt. Jedoch kann das Substrat 21 ebenfalls hierin verwendet werden.

Die Schaltelemente 30 sind gebildet aus Dünnschichttransistoren (TFT = Thin Film Transistors) oder Dünnschichtdioden (TFD). Die erstgenannten sind Transistoren, die jeweils eine Siliziumhalbleiterschicht, eine Isolierschicht und Elektroden aufweisen. Die letztgenannten weisen im allgemeinen amorphe Siliziumdioden und MIM-Dioden mit jeweils einer Tantal Elektrode, einer Tantaloxid- und einer Chromelektrode, in Serie geschaltet, auf.

Die Schaltelemente 30 sind in Matrixform angeordnet und werden von einem Treiberkreis 32 sukzessiv getrieben. Ströme zum Rücksetzen von auf der photoleitfähigen Schicht 25 auftretenden Potentialen auf ein Ursprungspotential werden auf einer Pixelbasis ausgelesen durch einen Signalauslesestromkreis 33. Eine Spannungsquelle 34 ist mit der leitfähigen Schicht 24 verbunden zum Anlegen einer Hochspannung an die photoleitfähige Schicht 25.

Ein Beispiel, in dem Siliziumhalbleiter TFTs als Schaltelemente 30 benutzt werden, wird im folgenden unter Bezugnahme auf Fig. 9 beschrieben.

Zuerst werden Halbleiterelemente in einem Matrixmuster auf einer hinreichend glatten Fläche des isolierenden Substrats 31 gebildet durch ein Dampfphasenwachstumsverfahren wie etwa Plasma CVD, durch Zerstäubung, oder durch Anwendung einer photolithographischen Technik, und Elektroden werden für die besonderen Elemente gebildet. Das isolierende Substrat 31 hat vorzugsweise ein Glassubstrat. Um eine Verschlechterung der Eigenschaften der TFTs zu vermeiden, ist ein als alkalifrei bekanntes Glas mit sehr wenig Natrium höchst geeignet. Weiterhin ist der bevorzugte Grad der Glattheit derart, daß die Krümmung im Bereich einiger Zentimeter nicht 200  $\mu\text{m}$  überschreitet und die Schränkung im Bereich von ungefähr 1 mm einige Nanometer nicht überschreitet. Die Halbleiterelemente können amorphes Silizium oder polykristallines Silizium aufweisen.

Bei der Verwendung amorphen Siliziums können die Elemente bei niedriger Temperatur gebildet werden, was einen ökonomischen Vorteil darstellt, da kostengünstiges Glas benutzt werden kann. Polykristallines

Silicium erlaubt eine größere Trägermobilität innerhalb der TFT-Elemente als amorphes Silicium. Daher ist polykristallines Silicium vom Gesichtspunkt der Gerätecharakteristiken bevorzugt.

Die photoleitfähige Schicht 25 und die leitfähige Schicht 24 werden auf den Halbleiterelementen durch Bedampfen oder Zerstäuben gebildet. Weiterhin wird das Fluoreszenzelement 22 auf der leitfähigen Schicht 24 mittels Bedampfung gebildet.

Da diese Ausführungsform nicht von einem Elektronenstrahl zum Auslesen einer elektrischen Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht 25 abhängt, muß das Target nicht in einem Vakuumkolben eingeschlossen sein wie in den vorhergehenden Ausführungsformen. Wo jedoch das Fluoreszenzelement 22 CsI:Na aufweist, sollte die gesamte Targetstruktur einschließlich der Schaltelemente 30 bevorzugt abgedichtet sein oder in einem Vakuumbehälter plaziert sein, um eine Verschlechterung der lichtemittierenden Eigenschaften aufgrund von Feuchtigkeitsabsorption zu vermeiden.

Das Auslesen der auf der photoleitfähigen Schicht 25 auftretenden Potentiale wird im folgenden unter Bezugnahme auf den in Fig. 10 gezeigten äquivalenten Stromkreis beschrieben.

Die photoleitfähige Schicht 25 schafft strukturell einen Detektorabschnitt, der als Ganzes eine integrale Schicht ist, jedoch elektrisch gesehen Pixel aufweist, die in parallelen Stromkreisen mit jeweils einem Kondensator und einem Widerstand dargestellt sind. Die integrierte photoleitfähige Schicht 25 wird durch die Spannungsquelle 34 auf demselben Potential gehalten.

Das Fluoreszenzelement 22 emittiert beim Eintritt von Röntgenstrahlen Licht, welches der photoleitfähigen Schicht 25 durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht 24 zugeführt wird. Wenn das Licht in jeden Pixel der photoleitfähigen Schicht 25 eintritt, verändert sich das in dem Kondensator gespeicherte Potential gemäß der Menge des auftreffenden Lichts.

Unter der Annahme, daß der Treiberstromkreis 32 die Zeile [i] auswählt, werden die TFT-Elemente der Zeile [i] eingeschaltet, um Ströme fließen zu lassen zum Wiederaufladen der jeweiligen Pixel, wodurch die Pixel auf das ursprüngliche Potential zurückgesetzt werden. Die Größe dieser Ströme wird als Signale ausgelesen durch den Signalauslesestromkreis 33 jeweils für Spalten [j-1, j, j+1, ...].

Die vom Signalauslesestromkreis 33 ausgegebenen Signale können übertragen werden an einen (nicht gezeigten) Tastspeicherstromkreis, einen (nicht gezeigten) Multiplexer und einen (nicht gezeigten) Analog-Digitalwandler, um als digitale Bildsignale aufgezeichnet zu werden. Eine geeignete (nicht gezeigte) Zeitgeberschaltung kann in das System einbezogen werden, um derartige Signale als analoge Bildsignale wie etwa Fernsehsignale zu benutzen.

Ein Beispiel, wo amorphe Siliciumhalbleiterelemente als Schaltelemente 30 benutzt werden, wird als nächstes beschrieben. Die Targetstruktur ist dieselbe wie in Fig. 9.

Zuerst wird amorphes Silicium auf eine hinreichend glatte Oberfläche eines Glassubstrats mittels eines Dampfphasenwachstumsverfahrens aufgetragen. Dann werden Diodenelemente mittels einer photolithografischen Technik gebildet. Jedes Diodenelement weist eine Treiberelektrode und eine Signalausleselektrode auf, wobei die Elektroden in dem Matrixmuster angeordnet sind. Dann werden die photoleitfähige Schicht 25, die leitfähige Schicht 24 und das Fluoreszenzelement 22 in

der genannten Reihenfolge auf den Diodenelementen gebildet.

Die Diodenelemente auf einer durch den Treiberstromkreis ausgewählten Zeile werden eingeschaltet. Dann werden Signale entsprechend den auf der photoleitfähigen Schicht 25 auftretenden Potentialen aus den jeweiligen Pixeln durch den Signalauslesestromkreis ausgelesen.

Ein weiteres Beispiel, wo MIM-Elemente als Schaltelemente 30 eingesetzt sind, wird als nächstes beschrieben.

Tantalhaltiges Metall wird auf eine hinreichend glatte Fläche des Glassubstrats mittels Zerstäubung aufgebracht. Danach werden ungewünschte Abschnitte mittels einer photolithografischen Technik entfernt.

Als nächstes wird die Oberfläche des tantalhaltigen Metalls durch anodische Oxidation oxidiert, um Tantaloxid zu bilden. Weiterhin wird Chrom durch Zerstäubung aufgetragen und ungewünschte Abschnitte wie im Fall des Tantal entfernt.

Nach der Bildung von MIM-Dioden durch den obigen Prozeß werden die photoleitfähige Schicht 25 und die lichtdurchlässige Schicht 24 auf diesen Elementen gebildet, gefolgt von der Bildung des Fluoreszenzelements 22.

Die MIM-Elemente auf einer von dem Treiberstromkreis ausgewählten Zeile werden eingeschaltet. Dann werden Signale entsprechend den auf der photoleitfähigen Schicht 25 auftretenden Potentialen von den jeweiligen Pixeln ausgelesen durch den Signalauslesestromkreis.

Dieses Beispiel ist ökonomisch, da die Elemente durch eine geringe Anzahl von Schritten gebildet sind. Ein Beispiel, worin eine dünne Glasplatte zwischen ein Fluoreszenzelement und eine leitfähige Schicht eingefügt ist, wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 11 beschrieben.

Ein Fluoreszenzelement 22 ist auf einer dünnen, glatten Glasplatte 23 gebildet. Abgesehen davon sind Schaltelemente 30, eine photoleitfähige Schicht 25 und eine leitfähige Schicht 24 auf einem Glassubstrat 31 gebildet. Die beiden Teile sind durch ein optisches Klebemittel 35 verbunden. Obwohl nicht gezeigt, kann vorteilhaft eine Polyimidschicht auf der leitfähigen Schicht 24 gebildet sein, um die verbundenen Flächen zu glätten und die Elemente zu schützen.

Wo beispielsweise das Fluoreszenzelement 22 gebildet ist aus CsI:Na, welches bekanntermaßen eine mit den Temperaturen der zu beschichtenden Fläche (d. h. der Substrattemperatur) stark variable kristalline Struktur hat, ist ein geeigneter Substrattemperaturbereich zwischen 200 und 400° C.

Gemäß diesem Verfahren der Benutzung einer dünnen Glasplatte 23 können die Schritte zur Bildung der photoleitfähigen Schicht 25, der Schaltelemente 30 u.ä. separat vom Schritt der Bildung des Fluoreszenzelements 22 ausgeführt werden. Folglich kann das Fluoreszenzelement 22 gebildet werden, ohne eine Verschlechterung der Eigenschaften der photoleitfähigen Schicht 25 und der Schaltelemente 30 aufgrund von Wärme in Kauf zu nehmen. Dies macht eine Temperatursteuerung am besten geeignet für Dampfbeschichtung von CsI:Na.

Weiterhin ist es unnötig, eine Temperaturerhöhung auf der zu beschichtenden Fläche, wo die Dampfbeschichtung mit einer hohen Rate fortschreitet, zu berücksichtigen. Daher kann CsI:Na in kurzer Zeit aufgebracht werden und das Fluoreszenzelement 22 unter

optimalen Bedingungen gebildet werden, ohne eine Verschlechterung der photoleitfähigen Schicht u.ä. zur Folge zu haben.

In dem in Fig. 11 gezeigten Beispiel kann die Glasplatte 23 durch eine Faserplatte, die in der dritten Ausführungsform beschrieben, ersetzt werden.

Fig. 12 zeigt ein Beispiel der Benutzung einer Faserplatte.

Eine leitfähige Schicht 24 und eine photoleitfähige Schicht 25 sind jeweils durch Zerstäubung und Dampfbeschichtung auf eine Oberfläche einer optisch polierten Faserplatte 26 aufgebracht. Ein Fluoreszenzelement 22 ist auf der anderen Fläche der Faserplatte 26 gebildet. Jede dieser Komponenten ist eine einzelne Schicht, die nicht in jeweilige Pixel aufgeteilt ist. Die Schichten können relativ einfach gebildet werden, ohne eine hochpräzise Positioniertechnik wie etwa Photolithografie zu erfordern.

Andererseits sind Schaltelemente 30 in einer Matrixanordnung auf einem Glassubstrat 31 gebildet. Ein leitfähiges Klebmittel 36 wird benutzt zur Verbindung der Schaltelemente 30 mit der photoleitfähigen Schicht 25 auf der Faserplatte 26.

Das leitfähige Klebmittel kann kommerziell erhältliches Silber als eine Hauptkomponente davon aufweisen. Es ist weiterhin möglich, die Schaltelemente 30 und die photoleitfähige Schicht 25 bei niedriger Temperatur zu verbinden mittels halbkugelförmigen Lötungen für die jeweiligen Pixel, oder diese Komponenten mittels einer quecksilberhaltigen Masse zu verbinden.

In diesem Beispiel sind das Fluoreszenzelement 22 und die photoleitfähige Schicht 25 auf derselben Faserplatte 26 gebildet. Zuerst kann das Fluoreszenzelement 22 auf einer Oberfläche der Faserplatte 26 gebildet werden, während die letztere erwärmt ist. Danach kann die photoleitfähige Schicht 25 auf der anderen Fläche der Faserplatte 26 gebildet werden. Dies ist effektiv in der Vermeidung von Störungen aufgrund von Wärme in den Eigenschaften der photoleitfähigen Schicht 25 während der Bildung des Fluoreszenzelements 22.

Fig. 13 zeigt eine weitere Modifikation der fünften Ausführungsform.

In diesem Beispiel sind ein Fluoreszenzelement 22, eine Harzschicht (oder SiO- oder SiO<sub>2</sub>-Schicht) 27, eine leitfähige Schicht 24 und eine photoleitfähige Schicht 25 in der genannten Reihenfolge auf einem Aluminium- oder Glassubstrat 21 gebildet. Wie andererseits beispielsweise in Fig. 12 gezeigt, sind Schaltelemente 30 in einem Matrixmuster auf einem unterschiedlichen Glassubstrat 31 gebildet. Die Schaltelemente 30 sind mittels einem leitfähigen Klebmittel 36 mit der photoleitfähigen Schicht 25 auf dem Substrat 21 verbunden.

#### Sechste Ausführungsform

In dieser Ausführungsform werden Elektronenstrahlen von einer Vielzahl linearer Kathoden abgelenkt und durch eine Elektronenstrahlsteuerungseinheit gesteuert, um ein Target abzutasten und eine elektrische Potentialverteilung auf einer photoleitfähigen Schicht auszulesen. Diese Konstruktion erreicht eine dünne Röntgenbildaufnahmeröhre.

Eine Röntgenbildaufnahmeröhre nach dieser Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf Fig. 14 beschrieben.

Diese Ausführungsform benutzt das in der ersten Ausführungsform beschriebene Target 12. Daher sind das Substrat 21, das Fluoreszenzelement 22, die leitfähige

ge Schicht 24 und die photoleitfähige Schicht 25 in der genannten Reihenfolge von der Röntgenstrahlauflaufseite her angeordnet. Alternativ kann die Targetstruktur eine der in der zweiten Ausführungsform (Fig. 4), der dritten Ausführungsform (Fig. 6) und der vierten Ausführungsform (Fig. 8) beschriebenen aufweisen.

Ein Elektronenstrahlerzeugungsmechanismus ist gegenüber der photoleitfähigen Schicht 25 des Targets 12 zum Auslesen einer elektrischen Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht 25 angeordnet. Dieser Mechanismus hat, sukzessiv von links nach rechts in Fig. 14 angeordnet, Gegenelektroden 41, lineare Kathoden 42, die als Elektronenstrahlquellen arbeiten, vertikal konvergierende Elektroden 43a und 43b, vertikal ablenkende Elektroden 44, Elektronenstrahlsteuer Elektroden 45, eine horizontal konvergierende Elektrode 46, horizontal ablenkende Elektroden 47, elektronenstrahlbeschleunigende Elektroden 48 und eine verzögernde Elektrode 49. Das Target 12 und der Elektronenstrahlerzeugungsmechanismus sind in einem flachen Vakuumglaskolben eingeschlossen.

Jede der als Elektronenstrahlquelle arbeitende lineare Kathode 42 ist sich horizontal erstreckend unterstützt, um einen Elektronenstrahl mit einer linearen horizontalen Ausdehnung zu erzeugen. Eine Vielzahl solcher linearer Kathoden 42 ist in geeigneten Abständen vertikal angeordnet. Diese Ausführungsform umfaßt 63 lineare Kathoden 42 (von denen zweckmäßigerweise nur vier in Fig. 14 gezeigt sind). Diese linearen Kathoden 42 sind beispielsweise durch Beschichten der Oberfläche von Wolframdrähten von 10 bis 29,4 µm Durchmesser mit einem oxidhaltigen Kathodematerial gebildet. Wie später beschrieben, werden die linearen Kathoden 42 sukzessiv von oben nach unten angesteuert, um Elektronenstrahlen jeweils für eine bestimmte Zeit aus zusenenden. Die linearen Kathoden 42 können durch eine Vielzahl von konischen Elektroden in einer zweidimensionalen Anordnung ersetzt sein.

Die Gegenelektroden 41 haben Funktionen zur Erzeugung von Potentialgradienten mit den später beschriebenen vertikal konvergierenden Elektroden 43a, um die Erzeugung von Elektronenstrahlen von anderen linearen Kathoden 42 als der zur Aussendung eines Elektronenstrahls für eine feste Zeit angesteuerte lineare Elektrode zu verhindern und die Ausbreitung der Elektronenstrahlen nur in Vorwärtsrichtung zu erlauben. Die Gegenelektrode 41 kann aus einem leitfähigen Material auf einer inneren Rückwand des oben genannten Glaskolbens gebildet sein.

Die vertikal konvergierende Elektrode 43a ist von der Form einer leitfähigen Platte 51, die eine Vielzahl von horizontal länglichen Schlitz 50 jeweils gegenüber den linearen Kathoden 42 definiert. Jeder der von den linearen Kathoden 42 emittierten Elektronenstrahlen läuft durch einen der Schlitz 50, um vertikal zu konvergieren. Jeder Schlitz 50 kann in Längsrichtung in geeigneten Abständen angeordnete Stäbe aufweisen. Alternativ kann jeder Schlitz 50 in der Form einer Reihe von horizontal in winzigen Abständen angeordneten Durchgangslöchern (so daß die Löcher nahezu kontinuierlich ineinander übergehen) sein, um im wesentlichen als Schlitz zu wirken. Die vertikal konvergierende Elektrode 43b ist ähnlich zu dieser Elektrode 43a.

Jede der vertikal ablenkenden Elektroden 44 erstreckt sich horizontal über einen Bereich entsprechend einem Zwischenabschnitt eines Schlitzes 50. Jede der vertikal ablenkenden Elektroden 44 hat Leiter 53a und 53b jeweils angewendet auf obere und untere Flächen



eines isolierenden Substrats 52. Eine vertikal ablenkende Spannung ist zwischen gegenüberliegenden Leitern 53a und 53b zur vertikalen Ablenkung eines Elektronenstrahls angelegt.

In dieser Ausführungsform lenkt ein Paar von Leitern 53a und 53b einen Elektronenstrahl von einer linearen Kathode 42 vertikal zu Positionen entsprechend 16 Zeilen ab. Diese Ausführungsform hat 64 vertikal ablenkende Elektroden 44, um 63 Paare von Leitern entsprechend den 63 linearen Kathoden 42 zu bilden. Folglich werden die Elektronenstrahlen vertikal abgelenkt, um 1008 horizontale Zeilen auf der photoleitfähigen Schicht 25 des Targets 12 zu beschreiben.

Als nächstes weist jede der Elektronenstrahlsteuerelektroden 45 eine leitfähige Platte 55 mit einem vertikal länglichen Schlitz 54 auf. Die Steuerelektroden 45 sind in geeigneten Abständen horizontal angeordnet. Diese Ausführungsform hat 100 steuernde leitfähige Platten 55 (obwohl zweckmäßigerweise nur 10 in Fig. 14 gezeigt sind). Die Elektronenstrahlsteuerelektroden 45 empfangen ein Strahlauswahlsignal sukzessiv von einer Anfangsseite des horizontalen Abtastens. Jede Strahlsteuerelektrode 45 erlaubt Elektronenstrahlen das Hindurchtreten nur während Perioden eines Strahlauswahlsignalempfangs, wobei die anderen Strahlsteuerelektroden 45 das Hindurchtreten von Elektronenstrahlen stoppen. Jeder der Elektronenstrahlen, die sukzessiv durch die Strahlsteuerelektroden 45 hindurchgetreten sind, wird zum Auslesen von Signalen von zehn horizontal angeordneten Pixeln (d. h. eine elektrische Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht 25) benutzt. In dieser Ausführungsform wird daher die Potentialverteilung auf der photoleitfähigen Schicht horizontal als Signale von 1000 (100 × 10) Pixeln ausgelesen.

Die horizontal konvergierende Elektrode 46 hat die Form einer leitfähigen Platte 57 mit einer Vielzahl (e. a. 100) von vertikal länglichen Schlitzsen 56 jeweils gegenüber den Schlitzsen 54 in den Elektronenstrahlsteuerelektroden 45. Jeder der Elektronenstrahlen wird horizontal zu einem dünnen Strahl zusammengezogen entsprechend der Größe eines Pixels.

Jede der horizontal ablenkenden Elektroden 47 hat die Form einer leitfähigen Platte 58, die sich vertikal über einen Bereich entsprechend einem zwischenabschnitt von einem Schlitz 56 erstreckt. Eine horizontal ablenkende Spannung ist zwischen benachbarten ablenkenden Elektroden 47 angelegt. Als Ergebnis wird ein zwischen benachbarten ablenkenden Elektroden 47 hindurchtretender Elektronenstrahl horizontal abgelenkt, um einen Bereich der photoleitfähigen Schicht 25 entsprechend 10 Pixeln horizontal abzutasten.

Die beschleunigenden Elektroden 48 haben die Form von leitfähigen Platten 59, die sich horizontal in Positionen ähnlich denen der vertikal ablenkenden Elektroden 44 erstrecken. Die beschleunigenden Elektroden 48 wirken, um die Elektronenstrahlen anzuziehen.

Die verzögernde Elektrode 49 hat die Form eines Maschenleiters 60 mit zahlreichen Poren. Die verzögernde Elektrode 49 hat eine Funktion zur Verzögerung des Elektronenstrahls unmittelbar vor der photoleitfähigen Schicht 25 des Targets 12 und zum Führen des Elektronenstrahls zum Eintreten in die photoleitfähige Schicht 25 unter dem richtigen Winkel dazu.

In einer Röntgenbildaufnahmeröhre mit der obigen Konstruktion tritt jeder Elektronenstrahl in die photoleitfähige Schicht des Targets 12 ein und tastet unter dem Einfluß der horizontal ablenkenden Elektroden 47 einen Bereich der photoleitfähigen Schicht 25 entspre-

chend zehn Pixeln horizontal ab, in eine elektrische Potentialverteilung in diesem Bereich auszulesen. Wenn der Bereich von zehn Pixeln ausgelesen worden ist, werden die Elektronenstrahlsteuerelektroden 45 geschaltet, um einen Strahlweg horizontal um einen Grad entsprechend zehn Pixeln zu verschieben. Als Resultat tastet der Elektronenstrahl einen nächsten Bereich von zehn Pixeln ab, um die elektrische Potentialverteilung in diesem Bereich auszulesen. Folglich werden die Elektronenstrahlsteuerelektroden 45 sukzessiv geschaltet, um die gesamte elektrische Potentialverteilung über eine horizontale Zeile auf der photoleitfähigen Schicht 25 auszulesen. Nachdem die elektrische Potentialverteilung über einer Zeile ausgelesen ist, werden die Gegenelektroden 41 und die vertikal konvergierenden Elektroden 43a und 43b geschaltet, wodurch ein Elektronenstrahl der nächst niedrigen linearen Kathode 42 emittiert wird, um eine elektrische Potentialverteilung über einer weiteren horizontalen Zeile auf der photoleitfähigen Schicht 25 in der oben beschriebenen Weise auszulesen. Die vorliegende Erfindung kann in anderen spezifischen Formen ausgeführt werden, ohne den Geist oder die essentiellen Merkmale davon zu verlassen und entsprechend sollte zur Indikation des Bereichs der Erfindung auf die folgenden Ansprüche Bezug genommen werden anstelle der vorhergehenden Beschreibung.

#### Patentansprüche

1. Röntgenbildaufnahmeröhre zur Umwandlung eines übertragenen Röntgenbildes in elektrische Signale mit:

einem Fluoreszenzelement zum Empfangen von übertragenen Röntgenstrahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung und Umwandeln der übertragenen Röntgenstrahlen in sichtbare Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung; einer lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht, die mit einer Fläche des Fluoreszenzelements entgegengesetzt zu dessen Röntgenstrahlauftrefffläche optisch gekoppelt ist, wobei die lichtdurchlässige leitfähige Schicht eine Hochspannung empfängt; einer photoleitfähigen Schicht, die auf die lichtdurchlässige leitfähige Schicht laminiert ist und eine amorphe Halbleiterschicht aufweist, welche Funktionen zur Konversion der durch die lichtdurchlässige leitfähige Schicht übertragenen sichtbaren Strahlen mit einer zweidimensionalen Verteilung in elektrische Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung und zur Vervielfachung der elektrischen Ladungen mit einer zweidimensionalen Verteilung mittels elektrischer Felder, die durch die an die lichtdurchlässige leitfähige Schicht angelegte Hochspannung gebildet sind, hat; und einer Signalausleseeinheit zum Abtasten einer Fläche der photoleitfähigen Schicht entgegengesetzt zu deren Auftrefffläche sichtbarer Strahlen, um eine auf der photoleitfähigen Schicht auftretende zweidimensionale elektrische Potentialverteilung als elektrische Signale auszulesen.

2. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die amorphe Halbleiterschicht Selen als eine ihrer Hauptkomponenten aufweist.

3. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die amorphe Halbleiterschicht auf entgegengesetzten Oberflächen jeweils Sperrschichten aufweist zum Verhindern des Ein-

tritts von elektrischen Ladungen in die amorphe Halbleiterschicht.

4. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluoreszenzelement eine Nadelkristallstruktur von Cäsiumjodid (CsI:Na), dotiert mit Natrium (Na), aufweist.

5. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtdurchlässige leitfähige Schicht in engem Kontakt mit dem Fluoreszenzelement gebildet ist, wobei das Fluoreszenzelement eine geglättete Fläche zur Kontaktierung der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht aufweist.

6. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Zwischenschicht zwischen dem Fluoreszenzelement und der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht, wobei die Zwischenschicht mindestens eine glatte Oberfläche gegenüber der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht aufweist.

7. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht eine dünne Glasplatte ist.

8. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht eine Faserplatte mit einer Vielzahl von gebündelten und zwischen Randflächen verbundenen optischen Fasern ist.

9. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Faserplatte als Unterstützungsbasis für eine Targetstruktur mit dem Fluoreszenzelement, der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht und der photoleitfähigen Schicht wirkt.

10. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Faserplatte eine sphärisch ausgeformte Fläche gegenüber der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht aufweist.

11. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht eine auf dem Fluoreszenzelement gebildete Harzschicht ist.

12. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht eine auf dem Fluoreszenzelement gebildete SiO-Schicht ist.

13. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht eine auf dem Fluoreszenzelement gebildete SiO<sub>2</sub>-Schicht ist.

14. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalausleseeinheit eine Signalelektronenkanone zum zweidimensionalen Abtasten der photoleitfähigen Schicht mit einem Elektronenstrahl aufweist.

15. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalausleseeinheit eine Gruppe von Schaltelementen in zweidimensionaler Anordnung auf der photoleitfähigen Schicht aufweist.

16. Röntgenbildaufnahmeröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalausleseeinheit einen elektronenstrahlerzeugenden Mechanismus aufweist mit:

einer Vielzahl linearer Kathoden als Elektronenstrahlquellen, die nebeneinanderliegen entgegengesetzt zu einer Fläche des Fluoreszenzelements in einer Targetstruktur mit dem Fluoreszenzelement, der lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht und der photoleitfähigen Schicht;

einer Vielzahl von Gegenelektroden hinter den linearen Kathoden (d. h. auf einer von der Targetstruktur abgewandten Seite) und in jeweils korrespondierender Beziehung zu den linearen Kathoden;

einer Vielzahl vertikal konvergierender Elektroden in Vorwärtsrichtung zu den linearen Kathoden und in korrespondierenden Beziehungen damit (d. h. auf einer der Targetstruktur gegenüberliegenden Seite) zur Erzeugung eines Potentialgradienten mit den Gegenelektroden, um nur einer ausgewählten der linearen Kathoden das Erzeugen eines Elektronenstrahls zu erlauben und den Elektronenstrahl vertikal zu konvergieren und in Vorratsrichtung auszustoßen;

einer Vielzahl vertikal ablenkender Elektroden, die in korrespondierenden Beziehungen zu den linearen Kathoden angeordnet sind zum vertikalen Ablenken der Elektronenstrahlen, die durch die vertikal konvergierenden Elektroden hindurchgetreten sind;

einer Vielzahl von Elektronenstrahlsteuerelektroden zur Beeinflussung der Elektronenstrahlen, die durch die vertikal ablenkenden Elektroden hindurchgetreten sind, um die Wege dieser Elektronenstrahlen sukzessiv entlang einer horizontalen Zeile zu schalten;

einer Vielzahl horizontal ablenkender Elektroden, die den Elektronenstrahlsteuerelektroden zugeordnet sind zur horizontalen Ablenkung der Elektronenstrahlen, die durch die Elektronenstrahlsteuerelektroden hindurchgetreten sind;

einer Vielzahl beschleunigender Elektroden, um die Elektronenstrahlen, die durch die horizontal ablenkenden Elektroden hindurchgetreten sind, zur Targetstruktur hinzuziehen; und

einer verzögernden Elektrode zum Verzögern des Elektronenstrahls, der durch die beschleunigenden Elektroden hindurchgetreten ist, vor der Targetstruktur.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

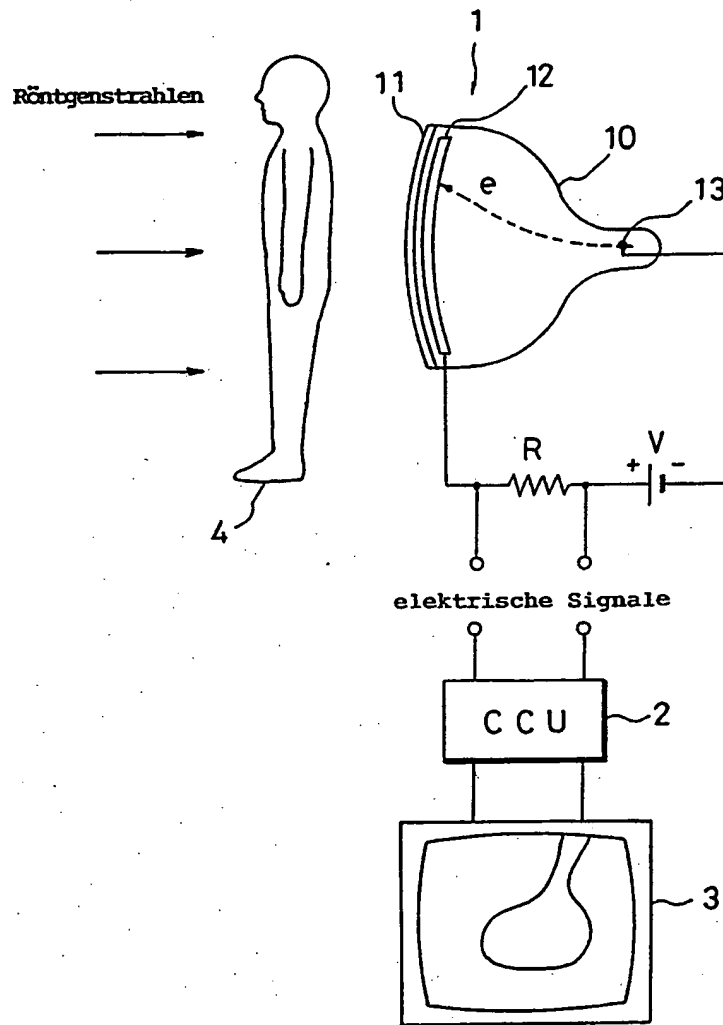


Fig.2

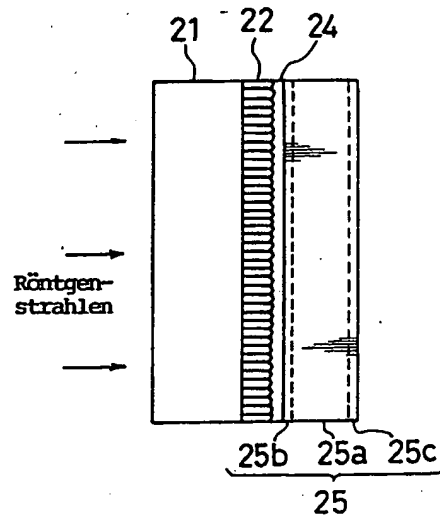


Fig.3

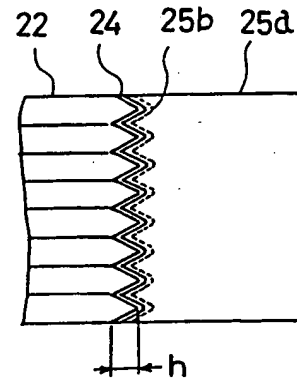


Fig.4

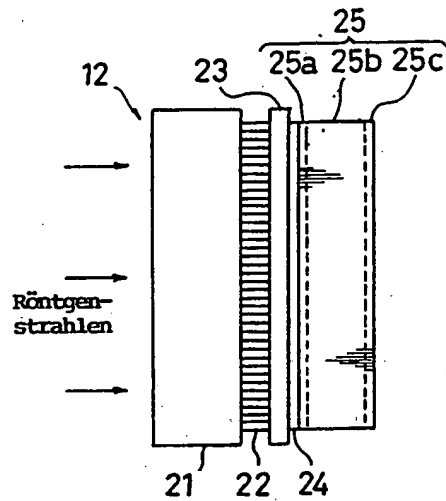


Fig.5

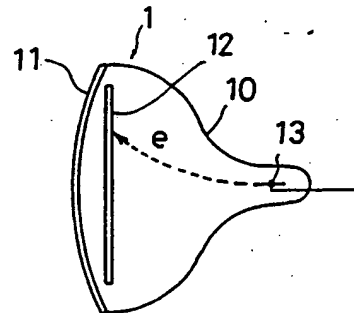


Fig.6

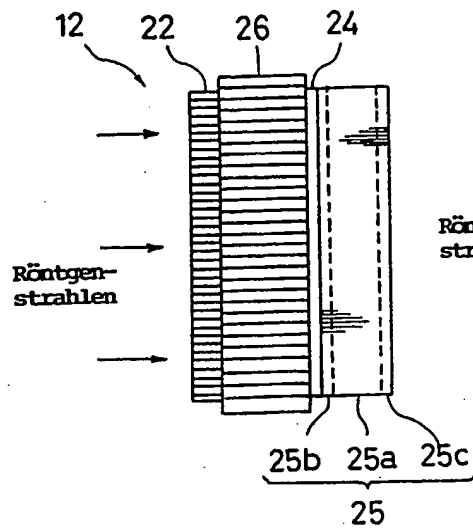


Fig.7

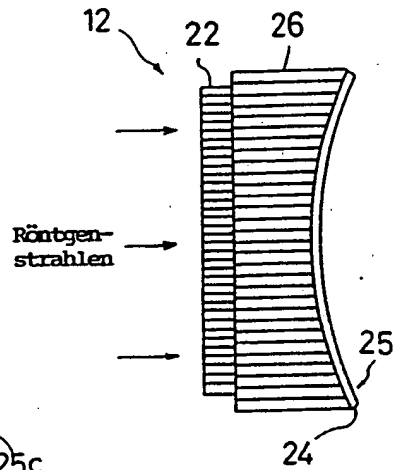


Fig.8

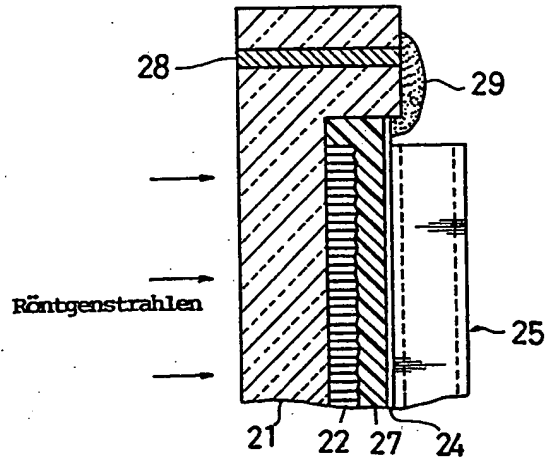


Fig.9

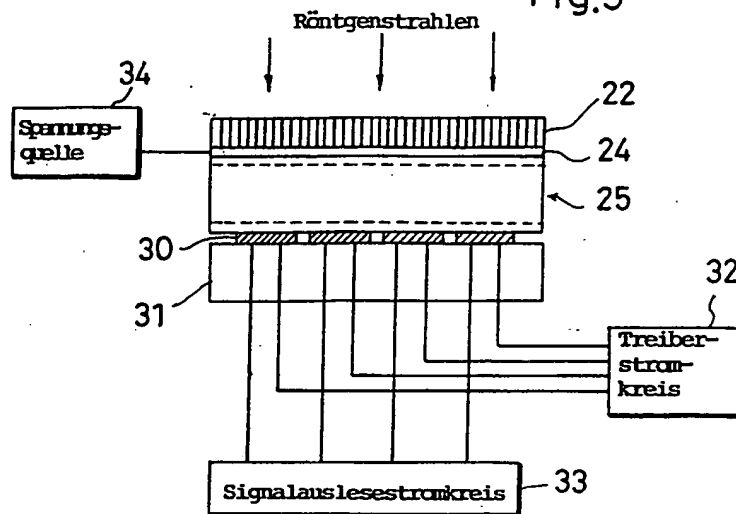


Fig.10

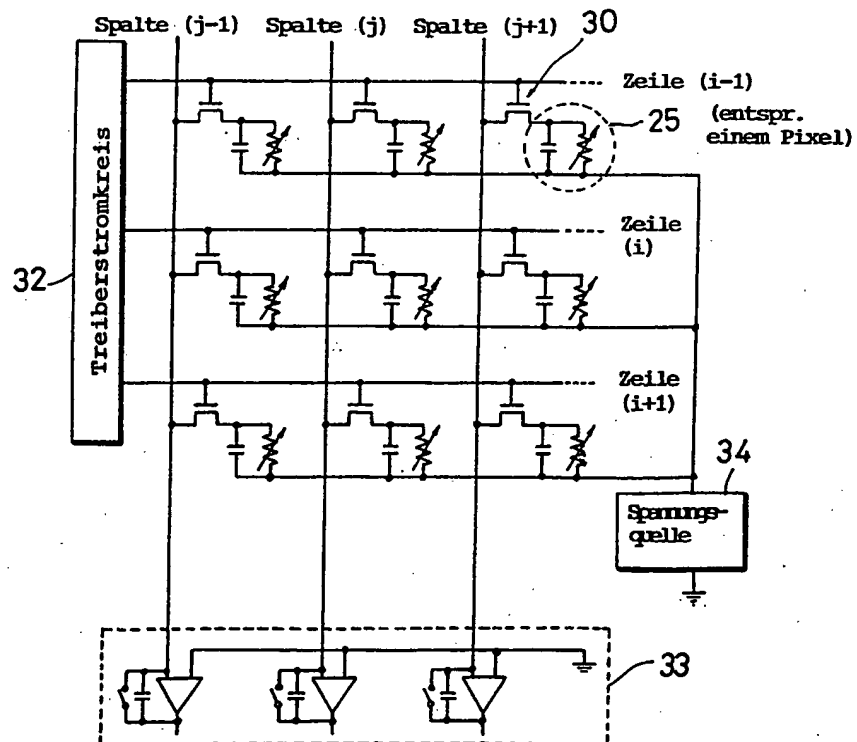


Fig.11

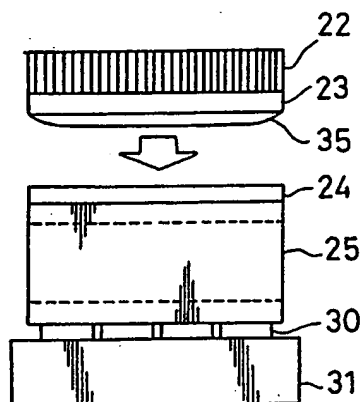


Fig.12

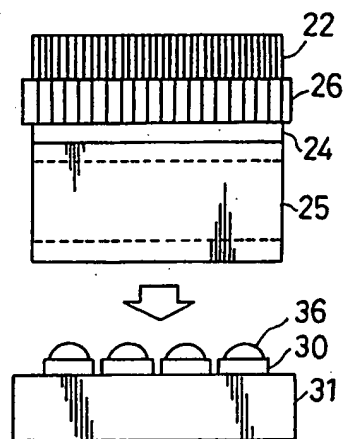


Fig.13

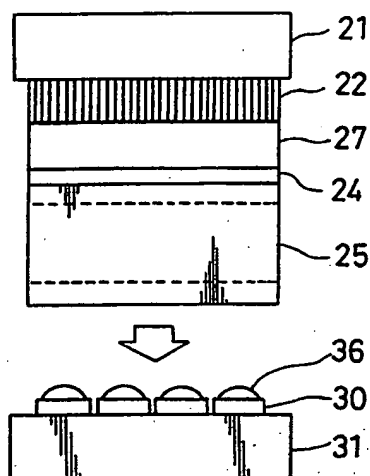


Fig.14

